

VŠB - Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Institut dopravy - Ústav letecké dopravy

Hodnocení vlivu smogových epizod na Ostravsku na provoz letiště

Leoše Janáčka

Assessing of Smog Episodes Impact in Ostrava Region on Ostrava Leoš  
Janáček Airport Operation

Student

Marek Pavlán

Vedoucí bakalářské práce:

doc. Ing. Petr Jančík Ph.D.

Ostrava 2013

## Zadání bakalářské práce

Student:

**Marek Pavlán**

Studijní program:

B3712 Technologie letecké dopravy

Studijní obor:

3708R036 Technologie letecké dopravy

Téma:

Hodnocení vlivu smogových epizod na Ostravsku na provoz letiště  
Leoše Janáčka  
Assessing of Smog Episodes Impact in Ostrava Region on Ostrava Leoš  
Janáček Airport Operation

Zásady pro vypracování:

1. Úvod, znečišťování ovzduší, historie a současnost.
2. Podmínky pro rozptyl znečišťujících látek v ovzduší, meteorolog. podmínky pro vývoj tzv. "smogových situací".
3. Klimatické charakteristiky Ostravského regionu z hlediska vývoje tzv. "smogových situací".
4. Srovnání omezení provozu na letištích LKMT, EPKT, EPKK, LKPR, LKTB ve srovnatelných meteorolog. situacích.
5. Vyhodnocení analyzovaných údajů z hlediska provozního a ekonomického.
6. Závěr.

Seznam doporučené odborné literatury:

Koniecznyński J.: Ochrona powietrza w teorii i praktyce. Zabrze: IPIŚ PAN Zabrze, 2008, T.1 i 2, 705  
Ekonomitor: Kompendium ochrany kvality ovzduší  
Český hydrometeorologický ústav, pobočka Ostrava: Nepříznivá imisní situace v Moravskoslezském a  
Olomouckém kraji v lednu 2010  
veřejně dostupné zdroje na internetu

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **doc. Ing. Petr Jančík, Ph.D.**

Datum zadání: 14.12.2012

Datum odevzdání: 20.05.2013



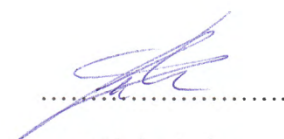
doc. Ing. Aleš Slíva, Ph.D.  
vedoucí katedry

doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.  
děkan fakulty

### **Místopřísežné prohlášení studenta**

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

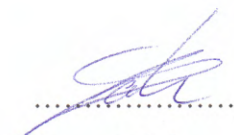
V Ostravě.....14. 5. 2013.....

  
.....  
podpis studenta

### Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- беру на ве́домі, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB – TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že bakalářská práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci, budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- беру на ве́домі, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě 14.5.2013

  
.....  
podpis

Jméno a příjmení autora práce:

Marek Pavlán

Adresa trvalého bydliště autora práce:

Výškovická 174, Ostrava, 700 30

## **ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE**

PAVLÁN, M. *Hodnocení vlivu smogových epizod na Ostravsku na provoz letiště Leoše Janáčka: bakalářská práce*. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Institut dopravy, 2013. 42 s. Vedoucí práce: doc. Ing. Petr Jančík, Ph.D.

Tato bakalářská práce pojednává o vlivu smogu na snížení dohlednosti v oblasti letiště Ostrava Leoš Janáček. Na základě koncentrací prašných částic PM10 v nejbližším okolí letiště a dohledností získaných ze zpráv METAR stanovuje práce závislost mezi těmito dvěma parametry. Do úvahy rovněž zahrnuje relativní vlhkost vzduchu a příp. rychlost a směr větru. K porovnání slouží především letiště Brno Tuřany, kde koncentrace PM10 nejsou tak vysoké a může tedy potvrdit či vyvrátit námi stanovenou hypotézu, že dohlednost je koncentrací PM10 z důvodu nárůstu kondenzačních jader negativně ovlivněna. V dalších částech práce je pak popsán dopad na provoz letiště Leoše Janáčka a tak vzniklé ekonomické ztráty.

## **ANNOTATION OF BACHELOR THESIS**

PAVLÁN, M. *Assessing of Smog Episodes Impact in Ostrava Region on Ostrava Leoš Janáček Airport Operation: Bachelor Thesis*. Ostrava: VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Institute of Transport, 2013, 42 p. Thesis head: doc. Ing. Petr Jančík, Ph.D.

The bachelor thesis discusses smog impact on visibility in Ostrava Leoš Janáček airport vicinity. Based on hourly concentrations of PM10 at the nearest weather station from the airport and on the visibility provided in METAR weather reports the thesis determines relation between these two parameters. Relative humidity and eventually wind speed and direction are taken into account. For comparison purposes there is Brno Tuřany airport chosen where the PM10 concentrations are not as high as in Ostrava and thus is able to accept or reject the hypothesis we stated that the concentrations of PM10 have a negative impact on visibility due to increase of cloud condensation nucleus's in number. Following chapters describe the consequences connected with Ostrava Leoš Janáček airport operation and its financial losses.

## OBSAH

<b>SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK .....</b>	<b>8</b>
<b>CÍLE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE .....</b>	<b>9</b>
<b>1 ÚVOD .....</b>	<b>10</b>
<b>2 ZNEČIŠŤOVÁNÍ OVZDUŠÍ, HISTORIE A SOUČASNOST .....</b>	<b>11</b>
2.1 Historie .....	11
2.2 Současnost .....	11
<b>3 PODMÍNKY PRO ROZPTYL ZNEČIŠŤUJÍCÍCH LÁTEK V OVZDUŠÍ, METEOROLOG. PODMÍNKY PRO VÝVOJ TZV. „SMOGOVÝCH SITUACÍ“ .....</b>	<b>13</b>
3.1 Atmosféra .....	13
3.1.1 Standardní vertikální profil teploty vzduchu .....	13
3.1.2 Instabilita atmosféry .....	14
3.1.3 Stabilita atmosféry .....	14
3.1.4 Vyhodnocení aerologického výstupu .....	15
3.2 Tvorba oblačnosti, kondenzační jádra .....	16
3.3 Inverzní situace .....	16
3.4 Emise, Transmise a Imise .....	17
3.5 Frakce PM10 .....	18
3.6 Smogová situace .....	18
3.6.1 Informativní prahová hodnota .....	19
3.6.2 Regulační prahová hodnota .....	19
3.6.3 Ukončení smogové situace .....	19
<b>4 KLIMATICKÉ CHARAKTERISTIKY OSTRAVSKÉHO REGIONU Z HLEDISKA VÝVOJE TZV. „SMOGOVÝCH SITUACÍ“ .....</b>	<b>21</b>
4.1 Klimatická klasifikace ostravského regionu .....	21
4.1.1 Quittova klasifikace obecně .....	21
4.1.2 Zařazení regionu do Quittovi klasifikace .....	22
4.2 Geografická charakteristika .....	22
<b>5 SROVNÁNÍ OMEZENÍ PROVOZU NA LETIŠTÍCH LKMT, EPKT, EPKK, LKPR, LKTb VE SROVNATELNÝCH METEOROLOG. SITUACÍCH .....</b>	<b>24</b>
5.1 Přistávací a vzletová minima obecně .....	24
5.1.1 Provoz VFR .....	25
5.1.2 Provoz IFR .....	25
5.2 Konkrétní přistávací a vzletová minima .....	25

5.2.1	Přilet .....	25
5.2.2	Odlet .....	26
5.3	Zkoumaná data .....	28
5.3.1	Zdroje dat .....	28
5.3.2	System analyzování dat .....	29
5.3.3	Dohlednost a RVR.....	29
5.4	Analýza dat.....	29
5.4.1	Letiště Ostrava, Leoš Janáček .....	30
5.4.2	Letiště Brno, Tuřany.....	35
<b>6</b>	<b>VYHODNOCENÍ ANALYZOVANÝCH ÚDAJŮ Z HLEDISKA PROVOZNÍHO A EKONOMICKÉHO .....</b>	<b>37</b>
<b>7</b>	<b>HODNOCENÍ CÍLŮ .....</b>	<b>40</b>
<b>8</b>	<b>ZÁVĚR.....</b>	<b>41</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....</b>	<b>42</b>

## SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK

<b>Zkratka</b>	<b>Anglický název</b>	<b>Český název</b>
AIP	Aeronautical Information Publication	Letecká informační příručka
ČHMÚ		Český hydrometeorologický ústav
EPKK	ICAO kód letiště Krakov Balice - Jan Pavel II.	
EPKT	ICAO kód letiště Katowice	
ISA	International Standard Atmosphere	Mezinárodní standardní atmosféra
LKMT	ICAO kód letiště Ostrava Leoš Janáček	
LKPR	ICAO kód letiště Praha Ruzyně	
LKTB	ICAO kód letiště Brno Tuřany	
LVP	Low Visibility Procedures	Provoz za snížené dohlednosti
LVTO	Low Visibility Take-off	Vzlet za snížené dohlednosti
METAR	Meteorological Aerodrome Report	Zpráva o počasí na letišti
MŽP		Ministerstvo životního prostředí
PM10	Particulate Matter 10	Polétavý prach o velik. menší než 10 µm
RVR	Runway Visual Range	Dráhová dohlednost
VPD		Vzletová a přistávací dráha



## **CÍLE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE**

Cílem bakalářské práce je vyhodnocení vlivu znečišťujících látek v ovzduší na dohlednost v oblasti letiště Ostrava Leoš Janáček v porovnání především s letištěm Brno Tuřany, pak taky s letištěm v Krakově, Katovicích a Praze. Na základě koncentrací PM10 v blízkosti letiště a hodnot dohlednosti na letišti se stanoví závislost, kterou ještě porovnáme s hodnotami stejných parametrů na letišti v Brně. Podle zjištěných typů letounů pohybujících se na letišti Ostrava Leoš Janáček a jejich standardního vybavení, které má přímou souvislost s přistávacími minimy, se pokusíme určit přibližné finanční ztráty letiště, z důvodu diverze letounů či zrušení letů.

# 1 ÚVOD

Od počátku letectví v historii lidstva se člověk musí potýkat s nepříznivými podmínkami určitých meteorologických jevů v atmosféře. Všechno, co měl kdysi pilot na palubě letounu k dispozici, se dá shrnout do několika málo slov. Byly to jeho oči a vyhodnocovací mechanismus zvaný mozek, jehož třibením a zkušenostmi se pilot zlepšoval. I když jsme již o více než století dále, tohoto základního principu jsme se ještě zcela nezbavili. Žijeme v době bezpilotních letounů a technologií, které umožňují navigaci s přesností jednotek metrů na tisíce námořních mil a přiblížení na přistání s nulovou dohledností (viz ILS CAT IIIc), přesto jsme stále pouze na přelomu těchto nových možností. Z důvodu lidské ergonomie a ekonomického pohledu nejsou takové technologie dostupné pro všechny letecké dopravce a provozovatele letišť. Stále se tedy musíme zabývat parametry, jako je dohlednost, výcvik posádky, vybavení letounu a vybavení letiště, pokud hovoříme o vzletech a přistáních. První ze zmíněných parametrů lze označit jako nejdůležitější. Pokud by se totiž dohlednost neustále pohybovala v desítkách kilometrů, ostatní parametry by automaticky odpadly. Nicméně tak to vždy není a člověk, jako tvor s touhou podmanění si i vzdušného prostoru, se s tímto musí vypořádat.

## 2 ZNEČIŠŤOVÁNÍ OVZDUŠÍ, HISTORIE A SOUČASNOST

### 2.1 Historie

První zmínky o znečištění ovzduší se datují již do roku 61, kdy si filozof Seneca, trpící astmatem, stěžoval na špatný vzduch v Římě. Toto byl ovšem zřejmě subjektivní pocit a žádné zásadní znečištění tehdy ještě nebylo. Skutečnou změnu představovala až průmyslová revoluce v 18. až 19. století, kterou odstartovalo sestavení parního stroje v roce 1789. Začínají se hojně využívat přírodní zdroje a s tím neoddělitelně souvisí i znečištění jak přírody obecně, tak i samotného ovzduší. <sup>[1]</sup>

Roku 1905 je poprvé použit výraz „Smog“. Kombinace dvou angl. slov – smoke (kouř) a fog (mlha) – je definicí jevu, který se již tehdy objevoval. Za poměrně průlomovou situaci se považuje smogová epizoda v Londýně roku 1952. Kvůli špatným rozptylovým podmínkám a hlavně kvůli vysoké koncentraci škodlivých látek v ovzduší přišlo o život v průběhu několika dní přes 4 000 lidí. Příčinou byli respirační obtíže, pneumonie a srdeční onemocnění. Nejvyšší koncentrace SO<sub>2</sub> tehdy dosáhla až k hodnotě 3 600 µg.m<sup>-3</sup>. Což je přibližně desetinásobek současného hodinového imisního limitu. <sup>[1]</sup>

V Československu od 50. let 20. století dochází k intenzivnějšímu zaměření na těžký průmysl. Do 70. let se dá hovořit o postupném nárůstu znečištění ovzduší, které kulminovalo v letech 80. Toto znečišťování bylo patrné i na poškozené vegetaci ekosystémů. Docházelo totiž ke kyselé atmosférické depozici a problém se začal stávat nejen lokálním, nýbrž i regionálním. V této době se objevily snahy o regulaci emisí, jako např. zákon 20/1966 Sb., O péči o zdraví lidu, nebo tzv. komínový zákon č. 35/1967 Sb., který za překročení limitů uděloval finanční penalizace. Díky těmto zákonům vznikla opodstatněná potřeba znečištění ovzduší měřit. <sup>[1]</sup>

Okolo roku 1989 se znečištění ovzduší stalo terčem intenzivní kritiky veřejnosti, přestože v tomto období již znečišťování tehdy nejsledovanějšími látkami buď stagnovalo, nebo pomalu klesalo. Vývoj úrovně znečištění v dalších deseti letech až do současnosti má u jednotlivých sledovaných látek rozdílný průběh.

### 2.2 Současnost

Spektrum měřených látek se postupně vyvíjelo. Zpočátku byl na většině meteorolog. stanic měřen jen oxid siřičitý a polévatý prach, o pár let později se přidává měření sumy oxidů dusíku. Mezi další rozšíření můžeme zařadit sledování hmotnostních

koncentrací určitých kovů ve vzorcích polétavého prachu a zavedení měření CO. Postupným vývojem a použitím automatických analyzátorů bylo umožněno samostatné sledování oxidu dusnatého či dusičitého a v posledních letech pak i ozónu, některých organických látek a polétavého prachu PM<sub>10</sub>.<sup>[2]</sup>

Tento vývoj je dán změnou potřeb a možností. Obzvláště se mění význam každé látky v důsledku změn charakteru znečištění a rozšíření povědomí o výskytu těchto látek v ovzduší, jejich koncentrací a o jejich potenciálních vlivech na přírodu včetně lidského zdraví. Zároveň měřicí technika pokročila tak daleko, že umožňuje zjišťování přítomnosti znečišťujících látek již při malých koncentracích.<sup>[2]</sup>

V ČR patří mezi největší znečišťovatele ovzduší průmysl, elektrárny, teplárny a pak také silniční doprava, jednotlivé domácnosti a zemědělství. Tyto zdroje vypouští do ovzduší látky jako např. SO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub>, TZL (tuhé znečišťující látky), těkavé organické látky, NH<sub>3</sub>, CO a další.<sup>[3]</sup>

*„Částice obsažené ve vzduchu lze rozdělit na primární a sekundární. Primární částice jsou emitovány přímo do atmosféry, ať již z přírodních (např. sopečná činnost, pyl nebo mořský aerosol) nebo z antropogenních zdrojů (např. spalování fosilních paliv ve stacionárních i mobilních zdrojích, otěry pneumatik, brzd a vozovek). Sekundární částice jsou převážně antropogenního původu a vznikají v atmosféře ze svých plynných prekurzorů SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> a NH<sub>3</sub> procesem nazývaným konverze plyn-částice. Na celkových emisích částic se v České republice podílí cca 90 %. Hlavními zdroji celkových emisí, tj. primárních částic a prekurzorů sekundárních částic (SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, NH<sub>3</sub>) je v České republice veřejná energetika (výroba elektrické a tepelné energie), doprava a výrobní procesy. Z důvodu různorodosti emisních zdrojů mají suspendované částice různé chemické složení a různou velikost. Suspendované částice PM<sub>10</sub> mají významné zdravotní důsledky, které se projevují již při velmi nízkých koncentracích bez zřejmé spodní hranice bezpečné koncentrace. Zdravotní rizika částic ovlivňuje jejich koncentrace, velikost, tvar a chemické složení. Při akutním působení částic může dojít k podráždění sliznic dýchací soustavy, zvýšené produkci hlenu apod.“*<sup>[4]</sup>

V posledních deseti letech imise SO<sub>x</sub> výrazně klesla, méně pak imise prašného aerosolu. Znečištění způsobené NO<sub>x</sub> je buď stejné, nebo místy i horší, koncentrace ozónu mírně roste.

### 3 PODMÍNKY PRO ROZPTYL ZNEČIŠŤUJÍCÍCH LÁTEK V OVZDUŠÍ, METEOROLOG. PODMÍNKY PRO VÝVOJ TZV. „SMOGOVÝCH SITUACÍ“

#### 3.1 Atmosféra

V letectví se setkáváme se zkratkou ISA (International Standard Atmosphere) nebo s českým ekvivalentem MSA (Mezinárodní standardní atmosféra). Je to atmosférický model chování tlaku, teploty a hustoty vzduchu se změnou výšky. Model předpokládá, že atmosféra je homogenní, vzduch je ideální plyn a tíhové zrychlení je konstantní. Jasně lze tedy vidět, že skutečné podmínky se jen tomuto modelu přibližují. Základní hodnoty ISA: <sup>[5]</sup>

Tlak vzduchu v úrovni MSL	1013,25 hPa
Teplota vzduchu v úrovni MSL	288,15 K (15,0°C)
Hustota vzduchu v úrovni MSL	1,225 kg/m <sup>3</sup>
Tíhové zrychlení	9,8066 m/s <sup>2</sup>
Vertikální teplotní gradient (0-11000m)	0,65°C / 100 m
Teplota vzduchu v 11000m	216,65 K (-56,5°C)
Tlak vzduchu v 11000m	226,32 hPa
Hustota vzduchu	0,36319 kg/m <sup>3</sup>
Tíhové zrychlení v 11000m	9,7727 m/s <sup>2</sup>
Vertikální teplotní gradient 11000-20000m	0°C / 100 m
Tlak vzduchu ve výšce 20000m	54,749 hPa

Tab 3.1.1 - Základní parametry ISA <sup>[5]</sup>

##### 3.1.1 Standardní vertikální profil teploty vzduchu

Teplota se vertikálně téměř pořád mění a jen výjimečně je v souladu s ISA. Obvykle teplota s výškou klesá, nicméně někdy se na určitém výškovém úseku udržuje stejná (izotermie) nebo dokonce roste (inverze). Inverze se v troposféře vyskytuje daleko častěji než izotermie a to ve dvou formách. Pokud spodní hranici inverze tvoří zemský povrch, potom hovoříme o přízemní inverzi. Je-li však inverze výše, nazýváme ji výškovou inverzí. Přízemní inverze vznikají především na podzim a v zimě důsledkem zkracování dne a prodlužování noci. Vzduchová hmota se tak stále více ochlazuje. Relativně studený, těžší vzduch stéká do nižších poloh a zaplňuje nížiny a údolí. Nad touto vzduchovou

hmotou může proudit teplejší vzduch a vertikální profil teploty je pak mezi zemským povrchem a horní hranicí inverze obrácený. <sup>[5]</sup>

### 3.1.2 Instabilita atmosféry

Abychom mohli bez obtíží zkoumat chování určitého objemu vzduchu pohybujícího se podél svislé osy v jiném objemu vzduchu, zavádíme předpoklad, že nedochází k výměně tepla mezi těmito dvěma vzdušnými hmotami. Hovoříme o adiabatickém ději. <sup>[5]</sup>

Mějme tedy vzdušnou hmotu, se kterou budeme pohybovat v atmosféře směrem vzhůru. U země je hmota stlačována určitým atmosférickým tlakem. Když však budeme vzdušnou hmotu posouvat výše, tlak nám bude klesat. Díky tomu bude hmota expandovat. Z principů fyziky víme, že plyny se stlačením zahřívají a rozpínáním naopak ochlazují. Vzduchová hmota se tedy při postupu vzhůru ochlazuje. V případě, že hmota není nasycena vodní parou (jedná se tedy o suchou adiabatou) uvažujeme pokles teploty o  $1^{\circ}\text{C}$  na 100m výšky. Změna ovšem nastane, pokud je hmota vodní parou nasycena. Při kondenzaci se uvolňuje skupenské teplo nazývané latentní (skryté) a jeho uvolňováním dochází ke snížení výsledného gradientu na  $0,6^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ . Tyto informace používáme zejména při analyzování aerologického výstupu. <sup>[5]</sup>

Naše vzdušná hmota se oproti okolní atmosféře liší svými meteorologickými parametry, jako jsou teplota a vlhkost. Jevy probíhající v atmosféře se chovají dle známé stavové rovnice plynů. V případě, že se vzdušná hmota nachází v určité výšce a má jinou teplotu než okolní atmosféra, tlak bude sice stejný, ovšem hustota těchto dvou hmot bude různá. Čím větší bude rozdíl teplot vzdušné hmoty a okolní atmosféry (tzn., že má hmota nižší hustotu a menší hmotnost), tím rychleji bude podle Archimedova zákona stoupat a zastaví se až tehdy, kdy vyčerpá svou veškerou pohybovou energii. Tento jev, kdy je určitá vzdušná hmota teplejší než její okolí, se nazývá instabilita atmosféry. Je důležité připomenout, že záleží na tom, zda je konkrétní vzdušná hmota nasycena vodní parou či ne. Pokud bude např. momentální teplotní vertikální gradient okolní atmosféry  $0,8^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$  a vzdušná hmota bude nenasyčená (gradient  $1^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$ ), pak k instabilitě nedochází. Pokud ovšem hmota nasycená bude (gradient  $0,6^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$ ), instabilita bude zaručena. <sup>[5]</sup>

### 3.1.3 Stabilita atmosféry

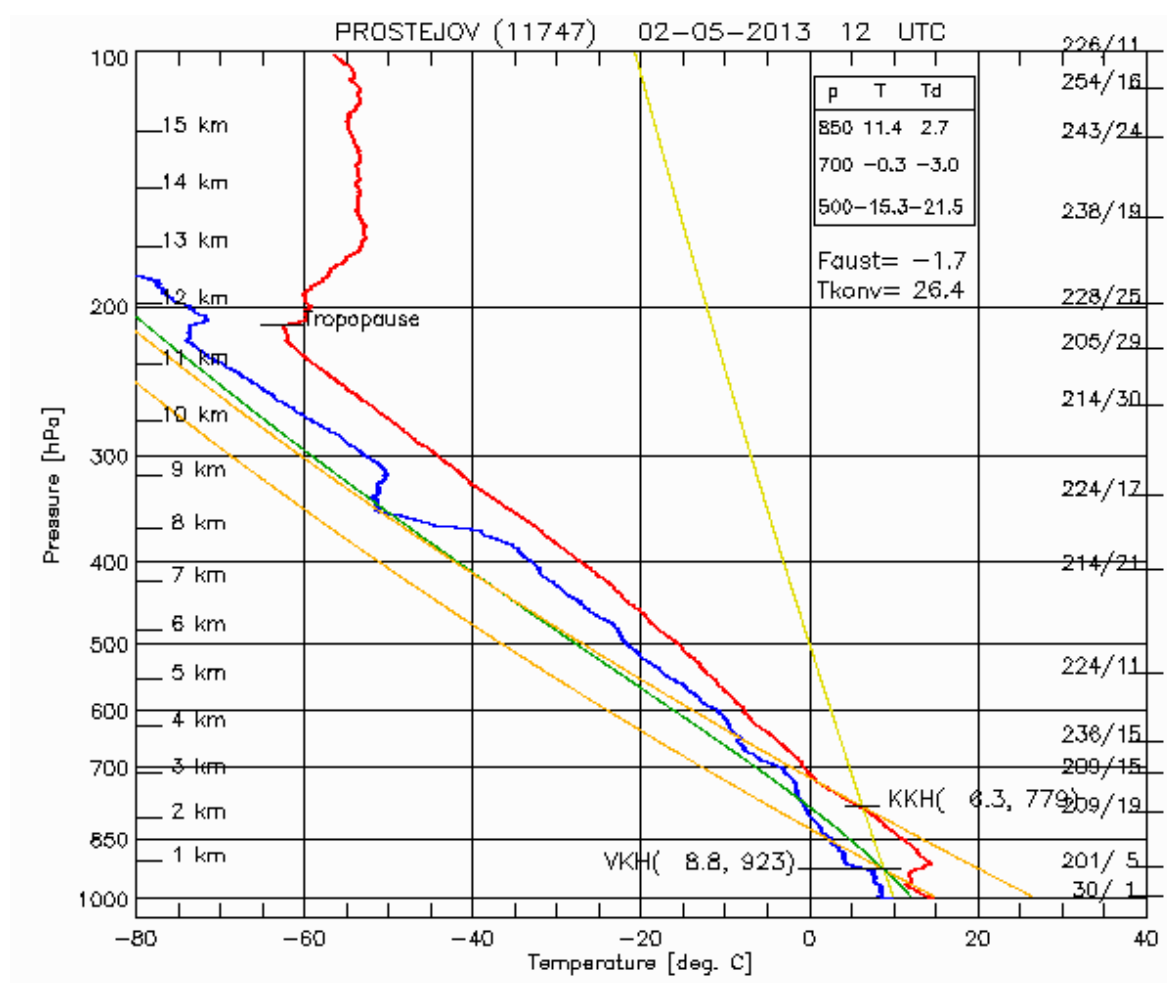
Opačným jevem k instabilní atmosféře, je atmosféra stabilní. Předpokladem pro vznik této situace je podmínka, že vertikální teplotní gradient převyšuje hodnotu

1°C/100 m výšky. Znamená to, že tedy teplota klesá s výškou rychleji, než teplota i nenasycené vzdušné hmoty. Kdybychom nějakým způsobem tuto hmotu dostali výše, sklesala by zpět dolů, jelikož její teplota by byla nižší než teplota okolní atmosféry a tím pádem by i její hustota byla větší.<sup>[5]</sup>

Pokud je vertikální teplotní gradient atmosféry přesně 1°C/100 m a máme vzdušnou nenasycenou hmotu, která má gradient tak stejně 1°C/100 m, můžeme s hmotou pohybovat nahoru i dolů (dokud se pohybujeme v prostoru atmosféry, kde se tento gradient nemění) a ona v daném místě zůstane. Hovoříme tedy o indiferentním zvrstvení.<sup>[5]</sup>

#### 3.1.4 Vyhodnocení aerologického výstupu

V grafu aerologického výstupu (viz Obr 3.1.4.1 – Příklad aerologického výstupu) je několik základních křivek, které nám pomohou z grafu vyčíst podstatné informace. Především je to křivka teploty vzduchu a křivka teploty rosného bodu. Další křivky jsou suchá adiabata, nasycená adiabata a směšovací poměr. Z těchto křivek potom určíme výstupnou kondenzační hladinu (VKH) a konvekční kondenzační hladinu (KKH).<sup>[5]</sup>



Obr. 3.1.4.1 – Příklad aerologického výstupu<sup>[6]</sup>

### 3.2 Tvorba oblačnosti, kondenzační jádra

Abychom správně pochopili, jak probíhá tvorba oblačnosti, je nezbytné vysvětlit pojem rosný bod a jeho vztah k teplotě vzduchu. Rosný bod je teplota, při které by za aktuálních podmínek byl vzduch plně nasycen vodními parami (relativní vlhkost dosáhne 100%). Je to bod (teplota) po jejíž překročení dochází ke kondenzaci. Aktuálními podmínkami je myšlena absolutní vlhkost vzduchu v určitém čase. Teplota rosného bodu je tedy na této absolutní vlhkosti závislá. Čím více je vodní páry ve vzduchu, tím vyšší je teplota rosného bodu, tzn., že tím vyšší musí být teplota vzduchu, aby nedošlo ke kondenzaci. Pokud je ovšem vlhkosti ve vzduchu jen málo, vzduch může být chladnější, aniž by došlo ke kondenzaci. [8]

Oblačnost tedy vzniká přiblížením teploty vzduchu k teplotě rosného bodu. Vodní pára potřebuje k přechodu z plynného do kapalného skupenství povrch, který je tvořen kapalným nebo pevným materiálem. Tyto zárodky oblačnosti se odborně nazývají kondenzační jádra. Ta mohou být tvořena jak přírodními, tak uměle (lidmi) produkovánými částicemi. Mezi ty přírodní patří např. sopečný prach, kapičky mořské soli, bakterie. Do skupiny lidmi produkováných kondenzačních jader pak patří různé chemické látky vzniklé spalováním fosilních paliv a látky produkované různými průmyslovými zařízeními. [7,8]

### 3.3 Inverzní situace

Na základě informací o atmosféře, konvektivním proudění a vzniku oblačnosti v předchozích kapitolách víme, že inverze je opačný průběh teploty s výškou. Pokud dochází k přízemní inverzi po delší dobu, hovoříme o inverzní situaci. Tento jev pozorujeme téměř výhradně v zimním, příp. podzimním období a je způsoben zkracováním dne. Slunce nedokáže zahřát zem natolik, aby dokázala předat přízemnímu vzduchu dostatečnou energii ke stoupání. Proto je stále více ochlazován a stává se tak vůči okolnímu vzduchu studenějším. Klesá do nížin, kde se udržuje. Teplý vzduch potom může bez problémů proudit nad touto studenou vzduchovou hmotou, dokud nedojde k přechodu fronty. Jednou z podmínek vzniku inverzní situace je malá distribuce větru či úplné bezvětří. Jen tak může chladná vzdušná hmota zůstat na jednom místě a neunikat. V případě, že začne vítr foukat, dokáže hmotu rozehnat a promísit s ostatními vzdušnými hmotami. Souhrnně tyto všechny faktory nazýváme rozptylové podmínky. Pokud nejsou rozptylové podmínky příznivé, vytváří se zádržná vrstva.

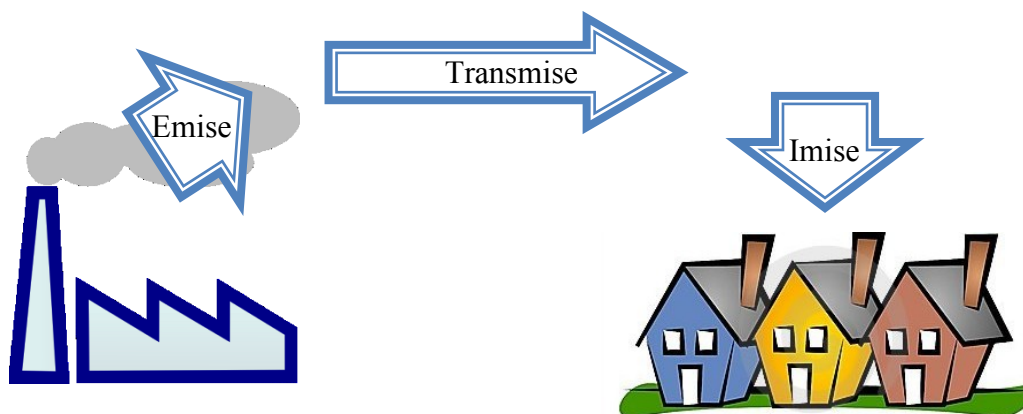


Bez inverzní situace se smogová situace na Ostravsku nevyskytuje. Je to dáno zejména dostatečně vysokými komíny hlavních znečišťovatelů ovzduší a obecně jinak obstojnými rozptylovými podmínkami.

### 3.4 Emise, Transmise a Imise

Znečišťování ovzduší se skládá z několika fází. Vypouštění látek do volného ovzduší se nazývá emise, přenos znečišťujících látek transmise a spad těchto látek na určité místo imise. Za běžných meteorologických podmínek se emise (alespoň z velkých znečišťovatelů) díky jejich teplotě při vypouštění a vysokým komínům dostávají dostatečně vysoko a rozptylují se do širokého okolí. Pokud však dojde k inverzní situaci a emise nemají dostatečnou energii k překonání zádržné vrstvy, zůstávají „pod pokličkou“ a postupně naplňují takto vytvořený prostor pod zádržnou vrstvou. Transmise je tedy téměř zanedbatelná a dochází k lokální imisi. Tato situace je nejhorší, pokud se začátek zadržující vrstvy pohybuje ve výšce 500 – 1000 m. To je výška, přes kterou se již emise z průmyslových zdrojů nedostanou. Pokud je inverze níže, mají šanci emise největších znečišťovatelů (vysoké komíny a vysoká teplota emisí) prorazit touto vrstvou.

Zhruba druhou polovinu znečištění ovzduší tvoří doprava a lokální spalování. Protože jsou tyto emise vypouštěny nízko při zemi a mají malou energii (tepelnou), nezávisí imise na výšce zadržující vrstvy. Inverzní situace obecně je pro tento druh znečištění postačující.



Obr. 3.4.1. – Schématické znázornění znečišťování ovzduší

### 3.5 Frakce PM10

Zkratka PM10 (angl. particulate matter), jinak také frakce nazývaná jako polétavý prach má ještě další dvě synonyma, dle oblasti použití. Při hodnocení kvality volného ovzduší se používá pojem aerosolové částice a při hodnocení odpadních plynů (emisi) se používá termín tuhé znečišťující látky (TZL). Nahrazením všech těchto českých pojmů angl. zkratkou PM se však zbavujeme veškerých podřazených definic a formálních nedostatků. Zkratka obsáhne všechny druhy tuhých částic, které se v ovzduší vyskytují. <sup>[16]</sup>

Číslo u zkratky udává velikost znečišťujících částic v mikrometrech. Velikost vychází z poznatků působení tohoto druhu znečištění na zdraví člověka. Jedná se o hraniční rozměr, kdy větší částice jsou u hrtanu zachyceny, kdežto menší (torakální částice) hrtanem projdou a dostávají se člověku až do plic. Úkolem zařízení stanovující koncentraci těchto částic v ovzduší pak je separace částic do zmíněných dvou skupin:

- částice o aerodynamickém průměru větším než 10  $\mu\text{m}$ , které nejsou zachycovány
- částice o aerodynamickém průměru menším než 10  $\mu\text{m}$ , které zachycovány jsou

Tato metoda ovšem poněkud zanedbává tvar zachycovaných částic. Je totiž rozdíl, zda jsou částice ostré či nikoli. Z hlediska zdravotního mají ostré částice daleko větší tendenci se uchytit v plicních zakončeních jedince takovým způsobem, že už je člověk nevykašle.

### 3.6 Smogová situace

*„Smogová situace je stav mimořádně znečištěného ovzduší, kdy úroveň znečištění oxidem siřičitým, oxidem dusičitým, částicemi PM10 nebo troposférickým ozónem překročí některou z prahových hodnot uvedených v příloze č. 6 k tomuto zákonu za podmínek uvedených v této příloze.“* <sup>[10]</sup>

Smogová situace vzniká v případě, že je vytvořena zádržná vrstva a přitom dochází z emisních zdrojů ke znečišťování ovzduší. V závislosti pak na výšce zadržující vrstvy a množství vypouštěných emisí se mění intenzita znečištění. Pokud situace odpovídá podmínkám v zákoně, vyhlásí se smogová situace. Rozlišujeme informační prahovou hodnotu a regulační prahovou hodnotu. V případě překročení informativního limitu vyhláší MŽP, resp. pověřená organizace ČHMÚ smogovou situaci. Pokud ovšem dojde k překročení i regulačního limitu, pak musí významní znečišťovatelé ovzduší v dané

oblasti omezit činnost, dodržovat speciální ekologická nařízení a tím snížit produkci emisí. <sup>[12]</sup>

#### 3.6.1 Informativní prahová hodnota

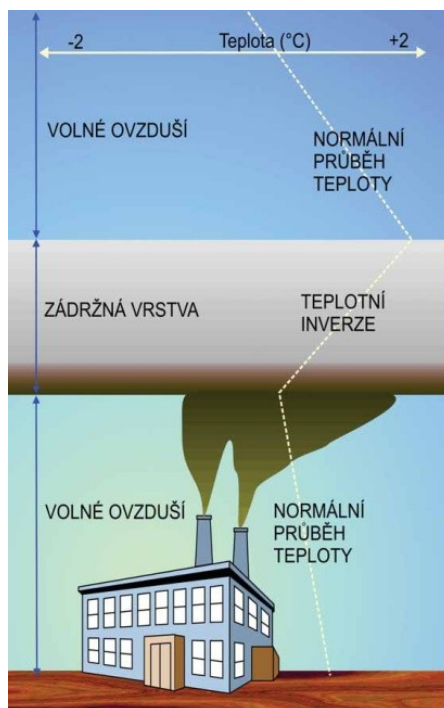
*"Informativní prahová hodnota je považována za překročenou v případě, že alespoň na jedné měřicí lokalitě reprezentativní pro úroveň znečištění v oblasti minimálně 100 km<sup>2</sup> překročila 24hodinová průměrná koncentrace částic PM<sub>10</sub> hodnotu 100 µg/m<sup>3</sup> ve dvou po sobě následujících dnech a zároveň je za posledních 6 hodin alespoň na polovině měřících stanic reprezentativních pro danou oblast rostoucí trend hodinových koncentrací částic PM<sub>10</sub>." <sup>[10]</sup>*

#### 3.6.2 Regulační prahová hodnota

V příloze je potom uvedeno o regulační prahové hodnotě už konkrétních koncentrací PM<sub>10</sub> toto: *"Regulační prahová hodnota je považována za překročenou v případě, že alespoň na polovině měřících lokalit reprezentativních pro úroveň znečištění v oblasti minimálně 100 km<sup>2</sup> překročila 24hodinová průměrná koncentrace částic PM<sub>10</sub> hodnotu 150 µg/m<sup>3</sup> ve třech po sobě následujících dnech a zároveň je za posledních 6 hodin alespoň na polovině měřících stanic reprezentativních pro danou oblast rostoucí trend hodinových koncentrací částic PM<sub>10</sub>." <sup>[11]</sup>*

#### 3.6.3 Ukončení smogové situace

V příloze je rovněž uvedeno, za jakých podmínek se smogová situace ukončuje: *"Smogová situace je ukončená, pokud na žádné měřicí lokalitě reprezentativní pro úroveň znečištění v oblasti minimálně 100 km<sup>2</sup> není překročena žádná prahová hodnota, přičemž tento stav trvá nepřetržitě alespoň 12 hodin a na základě meteorologické předpovědi není očekáváno obnovení meteorologických podmínek podmiňujících smogovou situaci v průběhu 48 hodin následujících po poklesu úrovně znečištění pod prahové hodnoty." <sup>[11]</sup>*



*Obr. 3.6.3 – Ilustrace problematiky smogové situace*

## 4 KLIMATICKÉ CHARAKTERISTIKY OSTRAVSKÉHO REGIONU Z HLEDISKA VÝVOJE TZV. „SMOGOVÝCH SITUACÍ“

Za hlavním rozmachem Ostravy stojí především objevení nalezišť černého uhlí. Tím se začal vytvářet těžký hutní průmysl, který výrazně ovlivňoval a ovlivňuje jak charakter krajiny, stav ovzduší, ale i pracovní trh a ekonomiku celého regionu.

Z názvu vyplývá, že zkoumanou oblastí bude především Mošnov, Studénka a nejbližší okolí, kde se nachází letiště. Z geomorfologického hlediska se jedná o subprovincii Vněkarpatské sníženiny. Nadmořská výška na tomto území se pohybuje okolo 250 m n. m.

### 4.1 Klimatická klasifikace ostravského regionu

*„Klima je výslednicí dlouhodobého působení radiačních poměrů, všeobecné cirkulace atmosféry, vlastností podkladu (nadmořská výška, tvar terénu, jeho sklon a orientace, schopnost pohlcovat a odrážet záření) a lidských zásahů.“* <sup>[13]</sup> Klasifikace podnebí vyjadřuje uceleně klimatické poměry s ohledem na vzájemné vazby mezi jednotlivými meteorologickými prvky, a na převažující typy atmosférické cirkulace. Existuje spousta typů klimatických klasifikací a odlišují se od sebe především systémem parametrů v závislosti na účelu použití.

Uvedu zde pouze Quittovu klasifikaci ostravského regionu, jelikož je více zaměřena na meteorologii a jednotlivé ukazatele, ne na vegetaci jako Köppenova.

#### 4.1.1 Quittova klasifikace obecně

*„Quittova klasifikace klimatu rozlišuje 23 jednotek ve třech oblastech (teplá, mírně teplá a chladná), definovaných určitými kombinacemi hodnot 14 klimatologických charakteristik (počet letních, mrazových a ledových dní, počet zamračených a jasných dní, počet dní se sněhovou pokrývkou, počet dní se srážkami 1 mm a více, průměrná teplota vzduchu v lednu, v dubnu, v červenci a v říjnu, srážkový úhrn za vegetační období (duben až září) a v zimním období (říjen až březen) a počet dní s průměrnou teplotou 10 °C a více. Hranice oblastí a rajonů jsou určeny počtem změn těchto tříd.“* <sup>[13]</sup>

#### 4.1.2 Zařazení regionu do Quittovi klasifikace

Oblast je v rámci klimatických charakteristik teplých oblastí zařazena do kategorie W2. V tabulce jsou uvedeny základní vyhodnocované parametry. Pro porovnání obsahuje ještě kategorie W1 a W3. Kategorii W2 můžeme v ČR nalézt na okrajích oblastí spadajících do W2 a kategorii W3 na jižním cípu Moravy u Mikulova. Kategorie W2 je charakterizována jako oblast s vlhkými, horkými léty a mírnější zimou.

Parametry	W1	W2	W3
Počet letních dní	50-60	50-60	60-70
Počet dní s průměr. teplotou 12°C a více	160-170	160-170	170-180
Počet dní s námrazou	120-130	100-110	110-120
Počet ledových dní	30-40	30-40	30-40
Průměrná lednová teplota	-3 - -6	-2 - -3	-3 - -4
Průměrná červencová teplota	17-18	18-19	19-20
Průměrná dubnová teplota	7-8	8-9	8-10
Průměrná říjnová teplota	7-9	7-9	8-9
Prům. počet dní se srážkami 1 mm a více	90-100	90-100	90-100
Suma srážek ve vegetačním období	350-400	350-400	350-400
Suma srážek v zimním období	200-300	200-300	200-300
Počet dní se sněhovou pokrývkou	50-60	40-50	50-60
Počet zatažených dní	120-140	120-140	110-120
Počet jasných dní	40-50	40-50	50-60

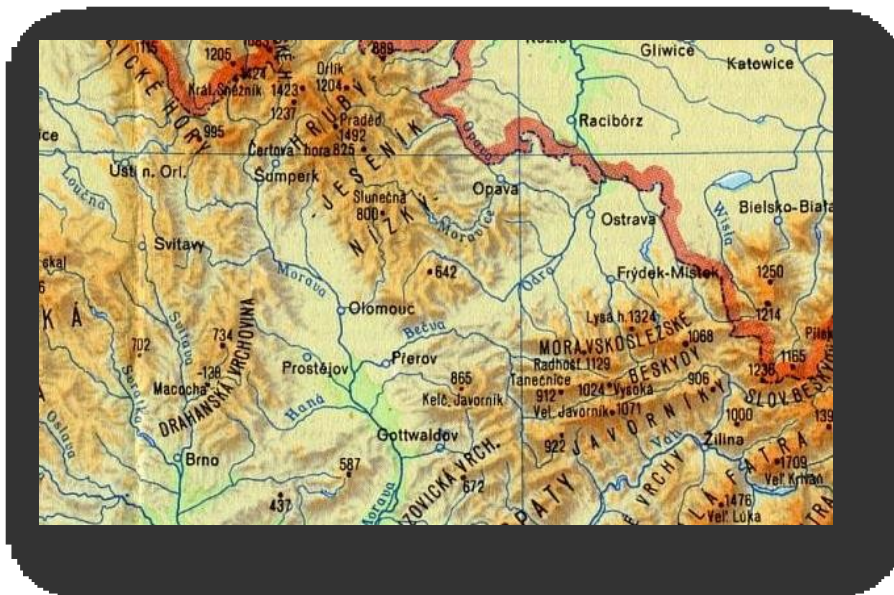
Tab. 4.1.2 – Quittova klasifikace ostravského regionu<sup>[13]</sup>

## 4.2 Geografická charakteristika

Ostravský region je z hlediska geografie velice rozmanitý. Ze západu je sevřen masívem Hrubého Jeseníku, jehož nejvyšším vrcholem je hora Praděd (1 491 m n. m.). Z hornatiny se postupně směrem na jih stává náhorní plošina Nízký Jeseník s pozvolnějším terénem a pak přechází v Oderské vrchy. Ve střední části je pak nížinatá, hustě osídlená Ostravská pánev a Moravská brána. Jihovýchodním směrem se reliéf krajiny opět zvedá a kulminuje hřbety Moravskoslezských (nejvyšší vrchol Lysá hora – 1323 m n. m.) a Slezských Beskyd.

Z níže zobrazené mapy je patrné, že směrem na severovýchod se údolí okolo řeky Odry rozšiřuje. Naopak, logicky, se na jihozápadě zužuje. Vytváří tak jakési „úzké hrdlo láhve“. Největší znečišťovatelé ovzduší v ostravském regionu se nachází v severovýchodním ústí údolí (viz REZZO 1, Moravskoslezský kraj). V blízkém Polsku,

několik desítek kilometrů od hranic leží další velcí znečišťovatelé, kteří nejsou povinni dodržovat stejné limity jako znečišťovatelé v ČR. Z předchozích informací vyplývá, že pokud má přízemní proudění jihozápadní směr, koncentrace PM10 se znatelně zvyšují. Nejhorší kombinací pro vznik smogových situací na Ostravsku je tedy silná inverzní situace s mírným severovýchodním větrem. Inverzní situace zajistí „pokličku“ a vítr s sebou přinese emise, které se potom v údolí hromadí.



Obr. 4.2.1 – Geografická poloha Ostravského regionu<sup>[14]</sup>

## **5 SROVNÁNÍ OMEZENÍ PROVOZU NA LETIŠTÍCH LKMT, EPKT, EPKK, LKPR, LKTB VE SROVNATELNÝCH METEOROLOG. SITUACÍCH**

### **5.1 Přistávací a vzletová minima obecně**

Jednou z nejdůležitějších informací o meteorologických podmínkách na letišti je dohlednost. Dohlednost je totiž při provádění přistání či vzletu nejvíce limitujícím faktorem. Minimální dohlednost, za které je možné provést přistání či vzlet závisí na navigačním vybavení letiště, osvětlení jednotlivých provozních ploch, navigačním vybavení letounu a v neposlední řadě na výcviku posádky. Všechny zmíněné aspekty popisuje a upravuje letecký zákon L. Každé letiště má detailní informace o svých parametrech publikované v tzv. AIP (Aeronautical Information Publication).

V závislosti na dohlednosti se určují jednotlivé kategorie na přistání a vzlet. Každá kategorie má své zvláštní postupy a požadavky. Pro účely této práce se však spokojíme s informací o dohlednosti horizontální, příp. RVR. Jinak taky řečeno, je to právě dohlednost, která nám stanoví aktuální kategorii. Kategorizace vznikla na základě rozdělení nejobvyklejšího navigačního zařízení pro navádění letounu na přistání ILS. Čím vyšší kategorie, tím přesnější navádění. To tedy znamená, že čím je nižší dohlednost, tím je vyhlášena vyšší kategorie a přistání je možné pouze tehdy, pokud jsou veškeré požadavky dané kategorie splněny.

Kategorie I je standardní kategorie. Pokud dráhová dohlednost neklesne pod 550m, pak jsou minima stanovena touto třídou. V případě, že je letiště vybaveno pouze ILS kategorie I, ale VPD je osvětlena požadovaným způsobem, je možné minimální dráhovou dohlednost pro vzlet snížit. Potom je tedy možné vzlétat za nižších dohledností, než jsou standardní minima ILS kategorie I.

Jakmile však dojde k poklesu RVR pod 550m vyhlásí se tzv. LVP za účelem informování posádek o nestandardních podmínkách na letišti. Do těchto podmínek potom patří kategorie II a III, kde již je kvalitní osvětlení VPD podmínkou a minima jsou tak nízká, že pro vzlet platí stejná minimální RVR 75 m. Kategorie III se ještě dělí na třídy a, b, c. Viz tabulka Kategorizace ILS.



Kategorie ILS	Min. RVR
CAT I	550 m
CAT II	300 m
CAT IIIa	200 m
CAT IIIb	75 m
CAT IIIc	0 m

*Tab. 5.1.1 – Jednotlivá minima pro dané kategorie ILS systému*

#### 5.1.1 Provoz VFR

Je provoz, který provádí let dle vizuálních pravidel. Ze zákona smí letadlo letící za VFR přistávat pouze při dohlednostech v řádech kilometrů. S jednotlivými kategoriemi ILS se tedy letouny letící za VFR nemusí zabývat. Navigační vybavení letiště a osvětlení provozních ploch v tomto případě nehrají roli, jelikož minimální dohlednost za účelem provedení VFR letu je sama o sobě mnohem větší. Tyto typy letů jsou první, které odpadávají při špatných meteorologických podmínkách. Drtivá většina z nich jsou ovšem lety vyhlídkové, rekreační, cvičné či výukové a nejsou tudíž nezbytně nutné. Pilot po zjištění nevhodného počasí může svůj zamýšlený let provést jindy. Nemusí tedy nutně znamenat ekonomickou ztrátu. Na letišti Ostrava Leoš Janáček se obecné letectví (téměř všechny VFR) podílí na výnosech méně než 5%. Je to poněkud zanedbatelné procento, tudíž do ekonomických ztrát tento typ provozu nebude započítán.

#### 5.1.2 Provoz IFR

Je takový provoz, který provádí let na základě pravidel podle přístrojů. Jedná se zejména o provoz větších dopravních letadel, které na provoz letišť a samotných dopravců mají vliv značný. V rámci této práce se zaměřuji pouze na pravidelné lety a na případnou ekonomickou ztrátu plynoucí z divertování, vyčkávání či naprostého zrušení letu.

### 5.2 Konkrétní přistávací a vzletová minima

#### 5.2.1 Přílet

Pro IFR přílety platí podmínky stanovené v leteckých předpisech L. Aby bylo možné uskutečnit přiblížení a hlavně přistání, je nutné, aby vybavení letounu, navigační zařízení a vyškolení posádky postačovalo na aktuální meteorolog. podmínky. U vyšších tříd jsou hodnoty min. vertikální dohlednosti tak nízké, že lze počítat za omezující faktor dráhovou dohlednost – čili horizontální.

Pro srovnání s ostatními nejbližšími mezinárodními letišti je níže sestavena tabulka, kde je uvedeno nejlepší navigační zařízení na daném letišti, z toho vyplývající dráhová dohlednost a zda není vybavení letounu omezujícím faktorem. Jedná se o letouny pravidelných osobních linek. Jejich výčet je uveden pod tabulkou.

Letiště	Navig. zařízení	Min. RVR	Letouny
LKMT	ILS CAT II	300 m	Splňují
LKTB	ILS CAT I	550 m	Splňují
LKPR	ILS CAT IIIb	75 m	Splňuje většina
EPKT	ILS CAT I	550 m	Splňují
EPKK	ILS CAT I	550 m	Splňují

*Tab. 5.2.1.1 – Porovnání příletových minim a vybavení letounů*

**LKMT:** A319/320; B737NG; ATR72; ATR42 <sup>[15]</sup>

**LKTB:** B738; A320; CRJ2 <sup>[16]</sup>

**LKPR:** B773; B744; B738; B737; B735; B733; Avro RJ100; Fokker 70; Fokker 100; Embraer 170; Embraer 175; Embraer 195; Embraer RJ170/190; Legacy 1000; ATR72; ATR42; A318; A319; A320; A321; CRJ900; Canadair Challenger 890; Saab 2000; DHC 8-400; Dash 8/8Q <sup>[17,18]</sup>

**EPKT:** B738; A320; CRJ2; CRJ7; ATR42/72; DHC8-400; Embraer 170 <sup>[19]</sup>

**EPKK:** B752; B738; B735; B733; A319; A320; Dash 8-400; Sukhoi Super Jet; ATR 42; ATR 72; Embraer 175; Embraer 170; Embraer 190 <sup>[20]</sup>

## 5.2.2 Odlet

Dle předpisů organizace ICAO je minimální RVR (dráhová dohlednost) pro vzlet za podmínek LVTO (vzlet za snížené dohlednosti) 75m. Tato hodnota se pojí pouze ke kategoriím II a III, jelikož u kategorie I je minimální RVR podstatně větší a není tedy obecně za LVP ani proveditelná. Při odletu je požadováno vedení navigačním prostředkem, proto se v této souvislosti hovoří o stejných kategoriích jako u přistání. Systém ILS kategorie I není do LVP kvůli své nedostatečné přesnosti řazen.

Minimální dráhové dohlednosti pro vzlet u kategorie I jsou určovány dle vybavení dráhy - hlavně v závislosti na osvětlení VPD, přičemž kategorie I se za podmínek LVP (provoz za snížené dohlednosti) již používat nesmí z důvodu nesplnění požadovaných minim. Pokud tedy máme dráhu s vybavením postačujícím pouze na kategorii I, pak RVR

ještě stoupá. Vzhledem k tomu, že z porovnávaných letišť s LVP kategorií I nevzlétají pravidelně letouny kategorie D, bereme v potaz pouze RVR minima společná pro kategorie A, B a C, publikovaná v mapách Letecké informační příručky.

Letiště	Min. RVR	Letouny
LKMT	75 m	Splňuje přibližně polovina typů
LKTB	250 m	Splňují
LKPR	75 m	Splňuje většina
EPKT	250 m	Splňují
EPKK	250 m	Splňují

*Tab. 5.2.2.1 – Porovnání odletových minim a vybavení letounů*

### 5.3 Zkoumaná data

Období, které bakalářská práce zkoumá, je zima na přelomu roku 2009 a 2010 s malým přesahem. Konkrétně tedy od 1. října 2009 do 30. března 2010. Po dohodě s vedoucím bakalářské práce bylo pro porovnání charakteristik letiště Ostrava Leoš Janáček vybráno letiště s nejbližšími geografickými podmínkami, podobným provozním vytížením, ale odlišným znečištěním ovzduší - mezinárodní letiště v Brně (průměrné koncentrace PM10 za analyzované období činily v Brně přibližně  $37,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$  kdežto v Ostravě  $60,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ).

Z důvodu velkého množství analyzovaných dat, se v práci zaměřuji především na časové úseky, které jsou význačné a přínosné pro vyhodnocení cílů práce. Všechna podrobná data s grafy jsou nahrána na CD nosiči přiloženém k bakalářské práci.

#### 5.3.1 Zdroje dat

Informace o teplotě, rosném bodu, síle a směru větru, dohlednosti, příp. dráhové dohlednosti byly získány z leteckých zpráv o počasí typu METAR. Archiv těchto zpráv je dostupný online na WWW: <http://www.wunderground.com/history/> (2013-04-17). Z teploty a rosného bodu si lze fyzikálními vztahy snadno vypočítat relativní vlhkost:

$$f = 100 \left( \frac{112 - 0.1T + T_D}{112 + 0.9T} \right)^8$$

f...relativní vlhkost,

T...teplota vzduchu,

T<sub>D</sub>...teplota rosného bodu <sup>[21]</sup>

Hodinové koncentrace PM10 měřené na meteostanicích nejbližše zkoumaných letišť pak byly získány z Evropské agentury pro životní prostředí. Dostupné online na WWW: <http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/data/airbase-the-european-air-quality-database-7> (2013-04-16).

### 5.3.2 Systém analyzování dat

Veškeré potřebné údaje jsou zpracovány do tabulek a následně grafů. Jsou vytvořeny dva soubory po šesti listech. Jeden soubor obsahuje data týkající se letiště Ostrava Leoš Janáček v šesti měsících (každý list jeden měsíc) a druhý data o letišti v Brně Tuřanech. Pro každý měsíc u každého letiště je vytvořena trojice základních grafů. Jedná se o dohlednost, koncentrace PM10 a relativní vlhkosti ve zkoumaném období. Veškerá data jsou v hodinových intervalech. Tyto tři grafy jsou srovnány pod sebe, aby se dala zřetelně zjistit závislost dohlednosti na znečištění ovzduší tuhými znečišťujícími látkami.

Jednotlivé významné úseky grafů jsou poté podrobněji zobrazeny a analyzovány v sešitech níže, hned vedle konkrétního data. Za účelem vyšší průkaznosti vyzkoumaných závěrů by bylo nutné udělat statistickou analýzu, ale to není cílem práce. Úkolem je zajistit odborný posudek zkoumané problematiky.

### 5.3.3 Dohlednost a RVR

Dohlednost je téměř vždy nižší než udává RVR. Do dráhové dohlednosti se totiž vždy započítává osvětlení, které je viditelné dříve než samotná dráha. Ve zprávě METAR bývá při nízkých dohlednostech udávána právě hodnota RVR. Z hlediska provozního a ekonomického zhodnocení se jedná o přesnější údaj. V datech jsou všechny hodnoty dohledností pod 1 000 m ve skutečnosti dráhové dohlednosti a hodnoty nad 1 000 m, dohlednosti klasické.

## 5.4 Analýza dat

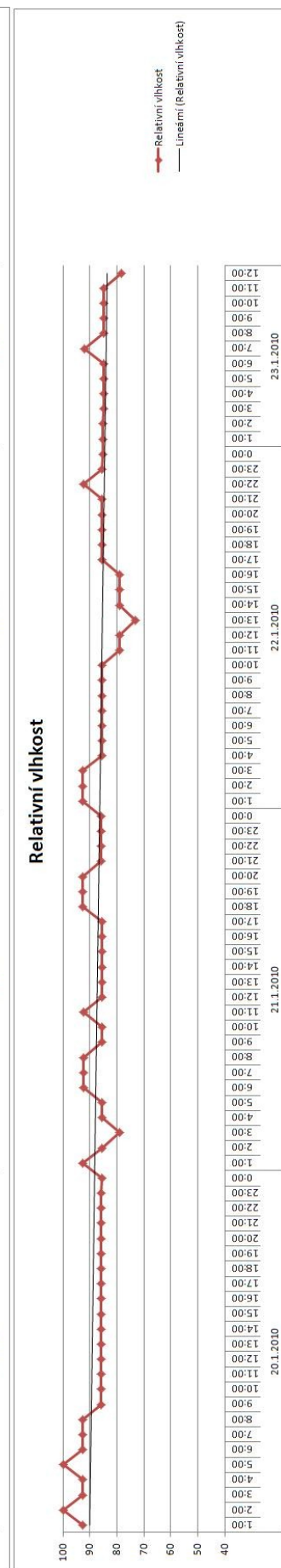
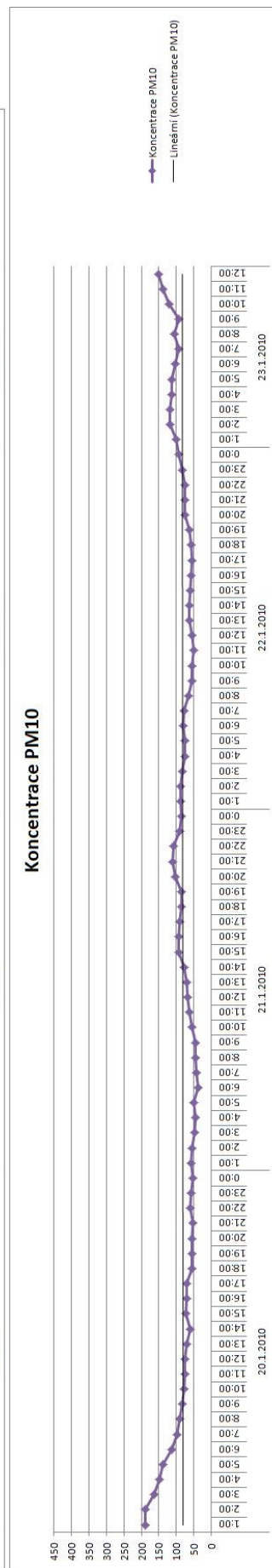
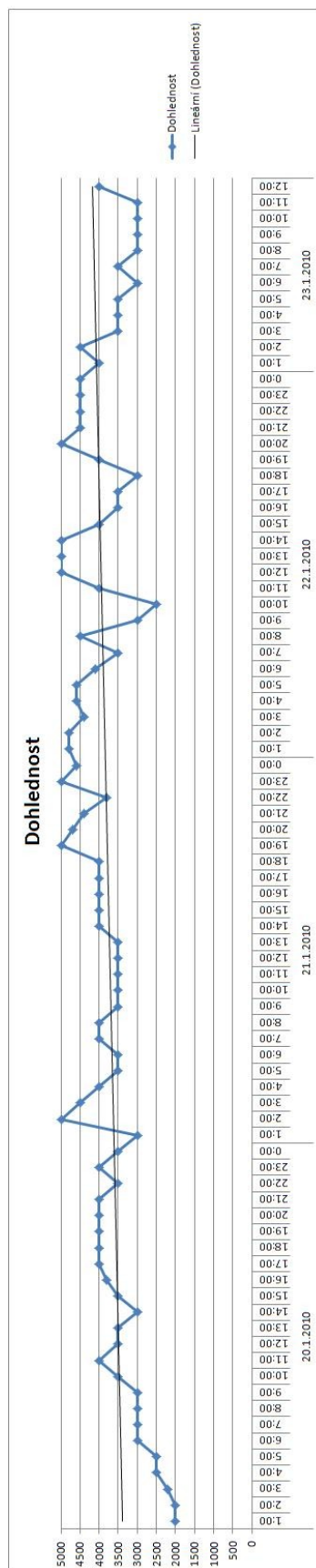
Podstatné informace, ze kterých můžeme dělat závěry, se nachází především v měsících prosinec, leden, únor, pak ještě občas v měsíci listopadu. V říjnu a březnu jsou koncentrace PM10 vůči ostatním měsícům nízké a není možné data nezkráceně analyzovat. Rovněž v těchto měsících dochází k typickému dennímu cyklu relativní vlhkosti – kdy je ráno a večer větší vlhkost než přes den.

#### 5.4.1 Letiště Ostrava, Leoš Janáček

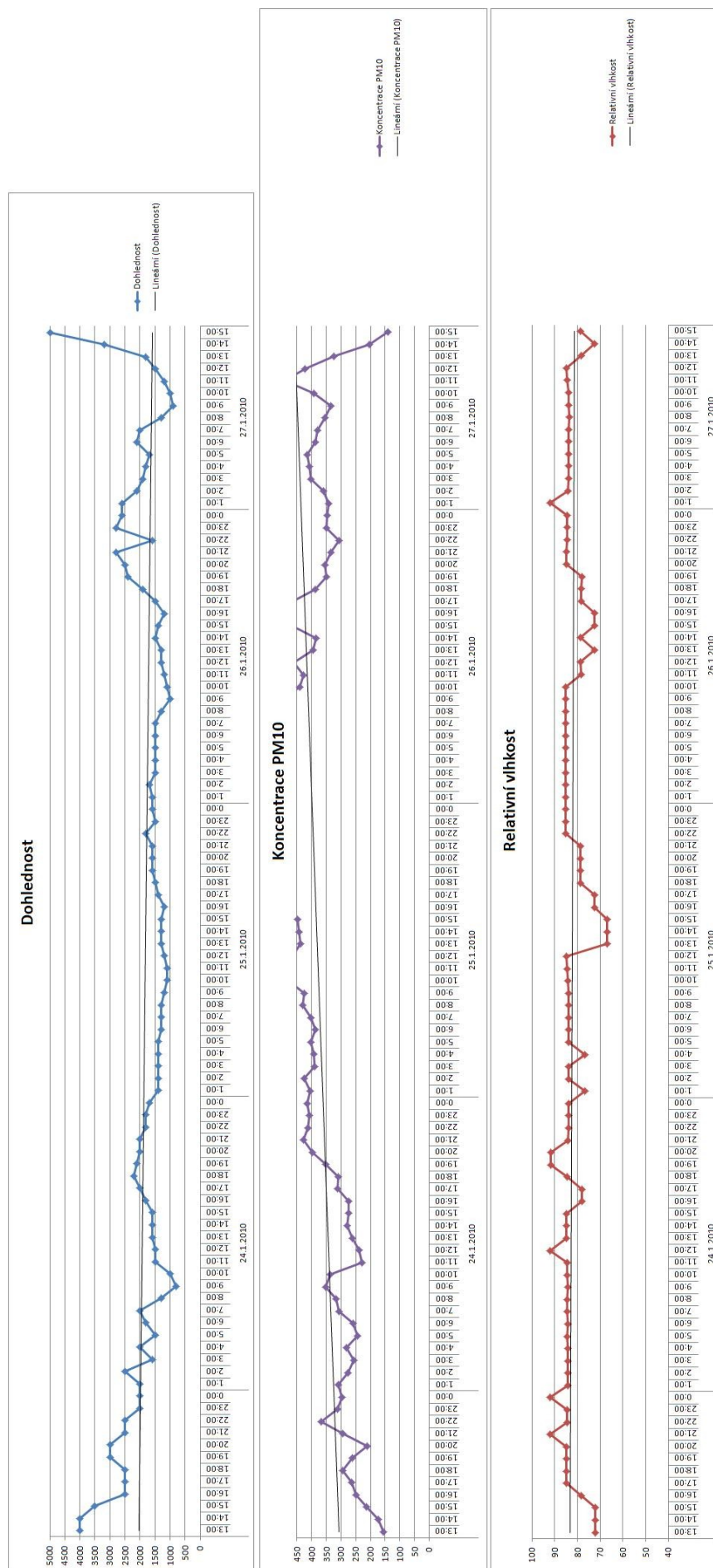
V období od 23. do 27. ledna byly naměřeny extrémní koncentrace PM<sub>10</sub> a byla vyhlášena emisní regulace. Jedná se o nejintenzivnější smogovou situaci za celou zimu 2009/2010. Nejvyšší hodinové koncentrace frakce PM<sub>10</sub> stoupaly až k hodnotám 600 µg/m<sup>3</sup>. Níže uvedené grafy zachycují hodinové dohlednosti na letišti LKMT, koncentrace PM<sub>10</sub> měřené na meteostanici ve Studénce a relativní vlhkost získanou z aktuální teploty a rosného bodu na letišti. Jsou to úseky C a D ze sešitu „Leden“ v souboru „Data LKMT“.

Porovnání hodnot v těchto dvou obdobích je názorným příkladem závislosti dohlednosti na koncentracích PM<sub>10</sub>.

V prvním úseku (20. 1. – 23. 1.) se průměrná dohlednost pohybuje od přibližně 3400 m do 3700 m. Průměrná relativní vlhkost pomalu klesá z 90% na asi 83%, což je obvyklá vlhkost. Koncentrace PM<sub>10</sub> jsou v průměru okolo 85 µg/m<sup>3</sup> a místy dosahují hodnot maximálně 110 – 150 µg/m<sup>3</sup>. Pokud se teď podíváme na úsek D (23. 1. – 27. 1.), který časově následuje hned po první části, vidíme několikanásobně vyšší koncentrace frakce PM<sub>10</sub>. Průměrná vlhkost je dokonce nižší než u předchozí části, přesto se dohlednost snížila až na 1 000 m. Průměrná dohlednost je pak okolo 2 000 m. Z první části do druhé došlo tedy ke snížení průměrné relativní vlhkosti, ale přesto ke snížení viditelnosti až o přibližně 1 500 m. S největší pravděpodobností za to tedy mohou extrémně zvýšené koncentrace PM<sub>10</sub>.



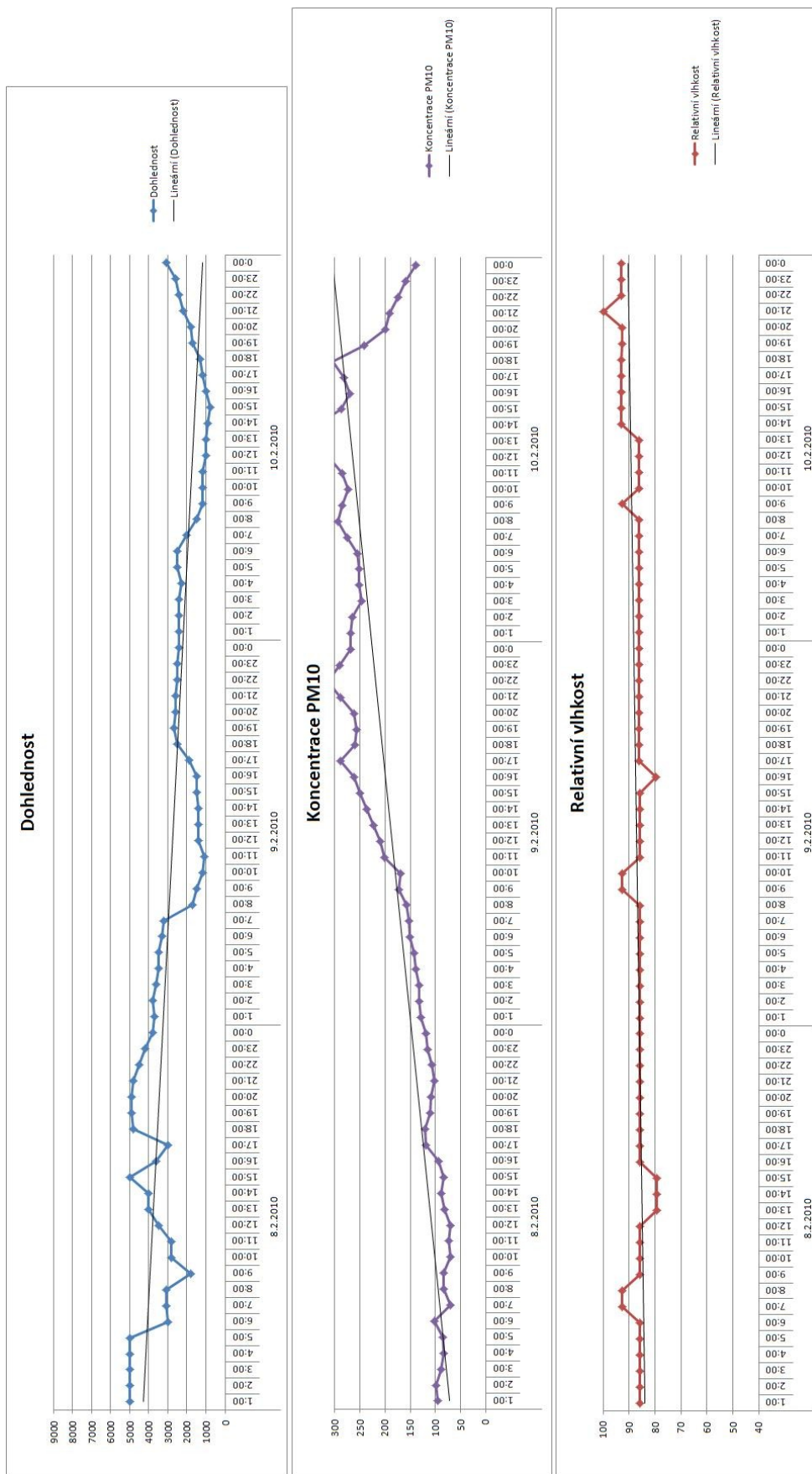
Obr. 5.4.1.1 – Úsek C, leden 2010, LKMT



Obr. 5.4.1.2 – Úsek D, leden 2010, LKMT



Další pozoruhodnou oblastí je například úsek B v únoru. Jedná se o období od 8. 2. do 10. 2. 2010. Podívejme se na oblast od 16:00 8. 2. do 8:00 9. 2. Relativní vlhkost se vůbec nemění, ale dohlednost klesá. Odpověď zase nacházíme ve stoupajících koncentracích PM10. Ve špičkách koncentrací v období 15:00 9. 2. do 19:00 10. 2. je vidět nápadné snížení dohlednosti. Místy klesá pod 1 000 m. Je důležité připomenout, že dohlednost závisí převážně na relativní vlhkosti. Ta je tedy primárním ukazatelem. Tato práce se nicméně snaží nalézt závislost i na koncentracích PM10 - zda mohou zvýšené hodnoty koncentrací PM10 snížit dohlednost za neměnné vlhkosti.



Obr. 5.4.1.3 – Úsek B, únor 2010, LKMT

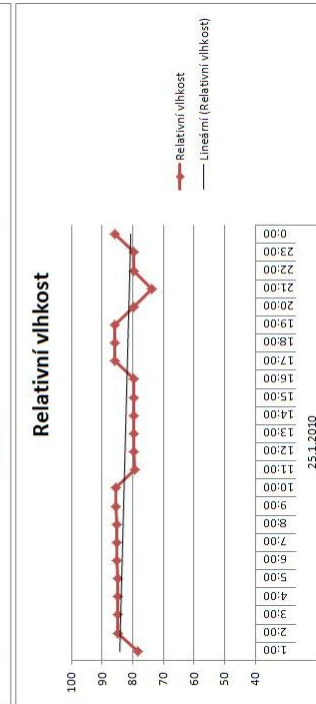
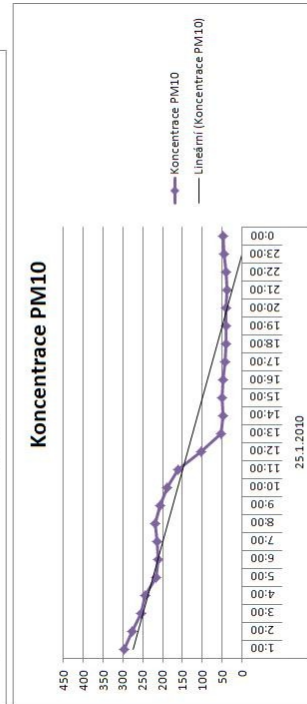
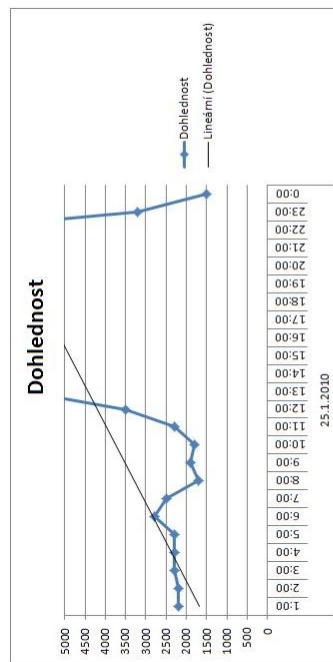
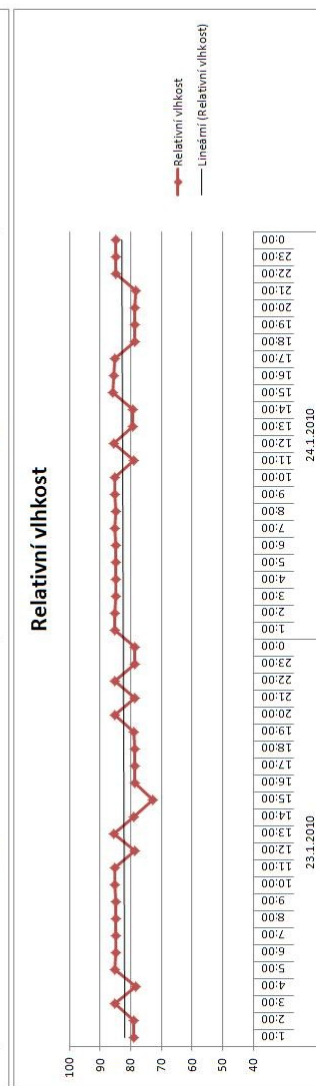
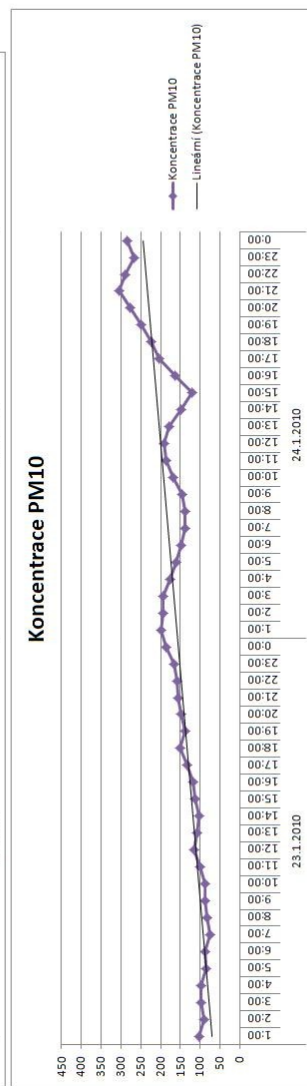
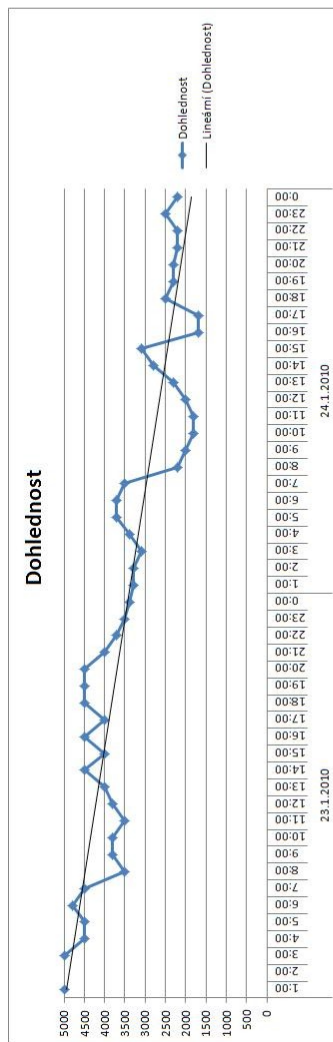
#### 5.4.2 Letiště Brno, Tuřany

Tak jako na letišti v Ostravě byla data získána ze zpráv typu METAR. Hodinové koncentrace PM10 pak z nejbližší meteorologické stanice – Tuřany. Intenzita znečištění ovzduší v Brně není na tak vysoké úrovni jako v Ostravě. Celkově jsou tedy hodnoty koncentrací PM10 nižší. Nalézáme však výjimečně i zde určitá období, kdy se hodnoty vyšplhají přes hranici  $300 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Zase vybereme pár příkladů a pokusíme se je analyzovat. Ostatní analyzované úseky jsou v obsáhlém souboru „Data LKTB“ na CD nosiči.

Úsek B v lednu popisující období od 23. 1. do 25. 1. je dalším z příkladů. Grafy jsou z důvodu větší objektivity (lineární spojnice trendu) rozděleny na dvě části – od 23. 1. do 24. 1. a pak pouze 25. 1. V prvních grafech je zachyceno kolísavé, přesto systematické klesání dohlednosti z hodnot okolo 5 000 m do 2 000 m. Vlhkost se téměř nemění – pohybuje se mezi zhruba 75% a 85%. Koncentrace však rostou od přibližně  $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$  až maximálně k  $300 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Jak napovídá spojnice trendu – závislost dohlednosti na koncentracích PM10 je zde patrná.

Tak jako v prvním grafu znečištění ovzduší polétavým prachem stoupalo, tak v druhém grafu klesá. Sledujeme tedy zlepšení situace. Dohlednost nám stoupá od 2 000 m až daleko za hranici 5 000 m. Koncentrace PM10 přitom padají níže než před imisní situací – na  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Vlhkost sice klesá, nicméně velice pomalu. Zase je zde možné vidět určitou závislost.

Z výše uvedených příkladů zkoumaných úseků a z dalších analýz přímo u dat, je závislost dohlednosti na koncentracích PM10 patrná. Většina úseků tuto hypotézu potvrzuje, avšak malé procento z nich i vyvrací. Závislost tedy mezi dohledností a koncentracemi PM10 dokázaná nebyla, nýbrž na základě dat a informací, které práce uvádí, je velice pravděpodobná.



Obr. 5.4.1.3 – Úsek B, únor 2010, LKMT

## 6 VYHODNOCENÍ ANALYZOVANÝCH ÚDAJŮ Z HLEDISKA PROVOZNÍHO A EKONOMICKÉHO

V souboru „Data LKMT“ jsou v každém měsíci označeny dohlednosti klesající pod 550 m a 300 m (červené ohrazení buňky pod 550 m a růžová výplň s červeným textem u dohledností pod 300 m). Tyto hodnoty jsou limity kategorií navigačních vybavení typu ILS. V současné době má letiště Leoš Janáček dráhu 22 vybavenou zařízením ILS CAT II. Dohlednosti pod 300 m tedy ukazují, kdy je právě toto zařízení limitujícím faktorem a není možné přistát. Počet případů, kdy dohlednost klesla pod 550 m, ale ne pod 300 m, ukazuje, kolikrát by nebylo možné přistát, pokud by bylo u dráhy pouze vybavení typu ILS CAT I.

Hodinové výskyty menších dohledností než limit ILS CAT II:

Č. výskytu	RVR	Koncentrace PM10	Vliv smogu
1	200	37	Minimální
2	200	28	Minimální
3	250	26	Minimální
4	250	50	Minimální
5	150	170	Reálný
6	250	35	Minimální
7	200	38	Minimální
8	200	33	Minimální
9	250	121	Reálný
10	175	195	Reálný
11	250	164	Reálný
12	250	133	Reálný
13	250	120	Reálný
14	275	133	Reálný

Tab. 6.1 – Hodinové výskyty menších dohledností než limit ILS CAT II

Hodinové výskyty menších dohledností než limit ILS CAT I, ale ne menších než ILS CAT II:

Č. výskytu	RVR	Koncentrace PM10	Vliv smogu
1	325	23	Minimální
2	500	37	Minimální
3	525	60	Minimální
4	450	66	Minimální
5	450	123	Reálný
6	450	35	Minimální
7	300	33	Minimální
8	500	25	Minimální
9	500	23	Minimální
10	500	24	Minimální
11	325	26	Minimální

12	400	23	Minimální
13	425	20	Minimální
14	400	23	Minimální
15	450	20	Minimální
16	350	16	Minimální
17	400	34	Minimální
18	500	27	Minimální
19	500	76	Minimální
20	500	57	Minimální
21	300	57	Minimální
22	300	40	Minimální
23	500	33	Minimální
24	500	122	Reálný
25	375	127	Reálný
26	300	132	Reálný
27	500	134	Reálný
28	400	163	Reálný
29	500	244	Pravděpodobný
30	500	197	Reálný
31	550	91	Reálný
32	375	182	Reálný
33	350	195	Reálný
34	375	223	Pravděpodobný
35	325	209	Pravděpodobný
36	550	63	Minimální
37	500	77	Minimální
38	400	15	Minimální

Tab. 6.2 – Hodinové výskyty menších dohledností než limit ILS CAT I

Výskyt dohledností pod minima ILS CAT II je téměř zanedbatelný. Pouze 14h v průběhu půl roku (říjen až březen) nebylo možné z těchto důvodů přistávat. Přičemž nejdelší souvislá doba, kdy se dohlednost držela pod minima, byla 6 hodin (4:00 až 10:00 1. 11. 2009). Vzhledem k charakteru provozu na letišti v Ostravě, kdy je v zimě minimální provoz, je tato ztráta procentuálně ve své podstatě nulová. I kdyby bylo na dané období naplánováno 5 pohybů letadel, dělá to ztrátu přibližně 0,08% z celkového počtu pohybů letadel za rok.

Pohyb letadel na LKMT				
Druh přepravy	2008	2009	2010	2011
Obecné lety	10 679	9 542	5 714	7 172
Cargo lety	86	186	187	167
Komerční osobní doprava	6 402	6 424	8 418	7 904
<b>Celkem</b>	<b>17 167</b>	<b>16 152</b>	<b>14 319</b>	<b>15 243</b>

Tab. 6.3 – Pohyb letadel na letišti Ostrava Leoš Janáček<sup>[22]</sup>

Dohlednost na letišti Ostrava Leoš Janáček není limitujícím faktorem. Vliv smogu na provoz a ekonomiku letiště tedy nemá v rozsahu IFR cestovních letů smysl řešit.

Tabulka hodinových výskytů dohledností menších než ILS CAT I slouží k porovnání a zhodnocení, zda se vyplatila instalace zařízení CAT II. Ta byla provedena v říjnu roku 2008. V závislosti na ceně zařízení a jeho instalace bychom mohli udělat závěr. Tyto náklady ovšem neznáme, takže nemůžeme zhodnotit. Za zmínku ovšem stojí informace na internetových stránkách letiště o plánovaném rozšiřování navigačního vybavení na ILS CAT IIIa.<sup>[23]</sup> Nejspíše se jednalo o dobrou investici.

Ze zpracovaných dat v předchozí kapitole a dat o dohlednostech pod minima navigačního zařízení však můžeme učinit závěr, že koncentrace PM10 mohou mít vliv na dohlednost, ovšem při tak nízkých dohlednostech je to těžko analyzovatelné. Tam totiž přebírá úlohu hlavně relativní vlhkost.

## 7 HODNOCENÍ CÍLŮ

Shromáždění a utřídění meteorologických dat za zkoumané období z letišť Ostrava Leoš Janáček a Brno Tuřany. Vyhodnocení těchto údajů z hlediska vzájemných závislostí, především dohlednosti na koncentracích frakce PM10 a relativní vlhkosti. Shromáždění obecných informací o průběhu meteorologických jevů v atmosféře spojených se smogovými situacemi a o samotných emisních situacích. Dále pak vypracování ucelených kapitol o kondenzačních jádrech a předpisech upravující podmínky pro letecký provoz za snížených dohledností. Zhodnocení vlivu snížené dohlednosti na provoz letiště Ostrava Leoš Janáček s přihlédnutím k vyzkoumaným závislostem na koncentracích PM10.



## 8 ZÁVĚR

Po analyzování dat se zjistilo, že koncentrace PM10 na provoz a potažmo na ekonomiku letiště Ostrava Leoš Janáček nemají vliv. Toto tvrzení je pravdivé pouze tehdy, pokud hovoříme o IFR letech větších dopravních letadel. Do bakalářské práce nebyly započítány lety VFR, které tvoří minimum z celkových příjmů letiště a na které má dohlednost snížená na pár kilometrů velký vliv. Práce však ukazuje, že mezi koncentracemi PM10 a dohlednostmi určitá korelace existuje, i když zrovna nepostihuje nejdůležitější typ provozu na letišti. Bylo by vhodné k této bakalářské práci do budoucna vytvořit statistickou analýzu, která by matematicky závislost potvrdila.

## SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] Historie znečištění a ochrany čistoty ovzduší [online]. [cit. 2013-05-08]. Dostupný z WWW: <http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/ruzne/vystava/CISTOTA/1.pdf>
- [2] Historie znečišťování ovzduší [online]. [cit. 2013-02-05]. Dostupný na WWW: <http://www.czp.cuni.cz/projekty/sdcz/moduly/2A/2A2/kazmarova.pdf>
- [3] Emisní bilance České republiky, REZZO [online]. [cit. 2013-05-08]. Dostupný z WWW: [http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/oez/embil/11embil/index\\_CZ.html](http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/oez/embil/11embil/index_CZ.html)
- [4] Suspendované částice frakce PM10 a PM2,5 [online] [cit. 2013-02-02]. Dostupný na WWW: <http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/isko/grafroc/groc/gr11cz/kap2421.html>
- [5] DVOŘÁK, P., *Letecká meteorologie, Učebnice pilota 2008*, Nakladatelství letecké literatury Svět křidel, ISBN 978-80-86808-46-8
- [6] Obrázek Příklad aerologického výstupu [online]. [cit. 2013-05-02]. Dostupný z WWW: [http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/meteo/oa/ptu\\_grafy\\_prostejov.html](http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/meteo/oa/ptu_grafy_prostejov.html)
- [7] Kondenzační jádra [online] [cit. 2013-04-21]. Dostupný na WWW: <http://weather.about.com/od/c/g/cloudnuclei.htm>
- [8] Znečištění venkovního ovzduší prachem [online] [cit. 2013-03-04] Dostupný na WWW: [http://www.khsova.cz/01\\_aktuality/znecisteni\\_ovzdusi\\_prachem.php?datum=2006-01-23](http://www.khsova.cz/01_aktuality/znecisteni_ovzdusi_prachem.php?datum=2006-01-23)
- [9] Polétavý prach [online]. [cit. 2013-05-08]. Dostupný z WWW: [http://www.irz.cz/dokumenty/irz/metody\\_mereni\\_ovzdusi/poletavy\\_prach.pdf](http://www.irz.cz/dokumenty/irz/metody_mereni_ovzdusi/poletavy_prach.pdf)
- [10] Zákon č. 201/2012 Sb. o ochraně ovzduší, §10. In: *Sbírka zákonů*. 2. 5. 2012. ISSN 1211-1244
- [11] Zákon č. 201/2012 Sb. o ochraně ovzduší, příloha č. 6: Smogové situace a podmínky jejich vzniku a ukončení. In: *Sbírka zákonů*. 2. 5. 2012. ISSN 1211-1244
- [12] Smogové situace [online]. [cit. 2013-04-10]. Dostupný z WWW: <http://www.infomet.cz/index.php?id=read&idd=1350732790>

- [13] TOLASZ, Radim. Atlas podnebí Česka [kartografický dokument].  
[Radim Tolasz ... et al.]. 1. vyd. Praha: Český hydrometeorologický ústav; Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci, 2007 255 s, il., tab., mapy. ISBN 9788086690261(ČCHMU). ISBN 9788024416267 (UP).
- [14] Obrázek Mapa ostravského regionu [online]. [cit. 2013-03-15]. Dostupný z WWW:  
<http://ckpaji.sweb.cz/>
- [15] Pravidelné destinace [online]. [cit. 2013-03-07]. Dostupný z WWW:  
<http://www.airport-ostrava.cz/cz/page-destinace-mapa/>
- [16] Pravidelné destinace [online]. [cit. 2013-03-07]. Dostupný z WWW:  
<http://www.brno-airport.cz/informace-o-letech/pravidelne-lety/>
- [17] Pravidelné destinace [online]. [cit. 2013-03-07]. Dostupný z WWW:  
<http://www.prg.aero/cs/informace-o-letech/destinace-a-aerolinky/>
- [18] Pravidelné destinace [online]. [cit. 2013-03-07]. Dostupný z WWW:  
<http://www.pragueairport.co.uk/online-departures.htm>
- [19] Pravidelné destinace [online]. [cit. 2013-03-07]. Dostupný z WWW:  
<http://www.katowice-airport.com/en/passengers/destinations-map>
- [20] Pravidelné destinace [online]. [cit. 2013-03-07]. Dostupný z WWW:  
<http://www.krakowairport.pl/en/42/3/33/Destinations-from-Krakow-Airport->
- [21] Vztah pro výpočet relativní vlhkosti [online]. [cit. 2013-05-08]. Dostupný z WWW:  
[http://www.ajdesigner.com/phphumidity/dewpoint\\_equation\\_relative\\_humidity.php](http://www.ajdesigner.com/phphumidity/dewpoint_equation_relative_humidity.php)
- [22] Výroční zpráva letiště LKMT 2011 [online]. [cit. 2013-04-10]. Dostupný z WWW:  
<http://www.airport-ostrava.cz/UserFiles/File/Vyrocnizpravy/VZ%202011.pdf>
- [23] Technické parametry letiště LKMT [online]. [cit. 2013-04-10]. Dostupný z WWW:  
<http://www.airport-ostrava.cz/cz/page-technicke-parametry/>